

วงจรรองความถี่โหมดกระแสหลายหน้าที่ ที่ควบคุมด้วยวิธีการทางอิเล็กทรอนิกส์โดยใช้ CCCII

สมมาตร สุบรรณพงษ์¹ และ ปิยะนัฐ ใจตรง² ศุภวัฒน์ ลาวัณย์วิสุทธิ³

¹สาขาวิชาอุตสาหกรรมศึกษา คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏเทพสตรี

³สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธนบุรี

²สาขาวิชาวิศวกรรมสารสนเทศและการสื่อสาร คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏเทพสตรี

บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอวงจรรองความถี่โหมดกระแสหลายหน้าที่หนึ่งอินพุต-สามเอาต์พุตที่ควบคุมได้ด้วยวิธีการทางอิเล็กทรอนิกส์ โดยใช้วงจรสายพานกระแสรุ่นที่สองที่สามารถทำงานได้เชิงอิเล็กทรอนิกส์ (CCCII) ประกอบด้วยตัวต้านทานและตัวเก็บประจุที่ต่อลงกราวด์ วงจรสามารถให้การตอบสนองการทำงานได้ 3 ฟังก์ชัน คือ ฟังก์ชันกรองผ่านความถี่สูง กรองผ่านความถี่ต่ำ กรองสัญญาณช่วงความถี่ สามารถควบคุมความถี่ธรรมชาติ และควอลิตี้แฟคเตอร์ได้ด้วยวิธีการทางอิเล็กทรอนิกส์อย่างเป็นอิสระจากกัน มีค่าความความต้านทานอินพุตสูง วงจรที่นำเสนอจึงเหมาะที่จะนำไปพัฒนาสร้างเป็นวงจรรวม สมรรถนะของวงจรรองความถี่ที่นำเสนอถูกทดสอบผ่านการจำลองผลการทำงานด้วยโปรแกรม PSpice โดยใช้เทคโนโลยีทรานซิสเตอร์ (CMOS) ขนาด 0.25 μ m TSMC ผลการทดสอบวงจรที่ได้มีความสอดคล้องกับที่คาดการณ์ไว้ในทางทฤษฎี

คำสำคัญ: กรองความถี่, วงจรสายพานกระแส

The Universal Biquadratic current mode Filter with Electronic Controllability Using CCCIs

Sommart Subannapong¹ Piyanat Jaitrong² and Supawat Lawanwisut³

¹Industrial Education Faculty of Industrial Technology, Thepsatri Rajabhat University

²Electrical Engineering Faculty Engineering, Thonburi University

³Information and Communication Engineering Faculty of Industrial Technology, Thepsatri Rajabhat University

Abstract

This paper describes the low pass, band pass, high pass, with single -inputs three -output configuration employing current controlled current conveyor (CCCII) with resistor and grounded capacitors , availability of multifunction biquadratic filter network the quality factor and nature frequency can be tuned electronically and independently, high input impedance, which is well suited for integrated circuit implementation. Additionally, each function response can be selected by suitably selecting input signals with digital method. The theoretical results are verified by PSpice simulator using 0.25 μm TSMC (CMOS) technology parameters. The given results agree well with the theoretical anticipation.

Keywords : Filter, Weave wire circuit currents

1. บทนำ

วงจรกรองความถี่เป็นวงจรหนึ่งที่มีความสำคัญในระบบการประมวลผลสัญญาณแอนะล็อกซึ่งถูกนำมาใช้อย่างแพร่หลาย ในหลายสาขา งาน เช่น ในระบบสื่อสาร ในระบบเครื่องมือวัด และในระบบประมวลผลสัญญาณ [1-2] วงจรกรองความถี่สามารถให้ผลตอบสนองการกรองความถี่ได้หลายหน้าที่ในโครงสร้างวงจรเดียวกัน จึงมักจะถูกพัฒนาให้วงจรกรองความถี่ได้หลายหน้าที่ ข้อดีที่มากกว่าวงจรกรองความถี่ทั่วไปคือ เป็นวงจรที่สามารถให้การตอบสนองได้หลายแบบในเวลาเดียวกัน โดยที่ไม่ต้องเปลี่ยนโครงสร้างของวงจร เช่น กรองความถี่ต่ำผ่าน กรองความถี่สูงผ่าน และกรองแถบความถี่ผ่าน [1]

จากการศึกษาได้มีผู้นำเสนอ กรองความถี่หลายหน้าที่อันดับสองโหมดแรงดันแบบหลายอินพุต-หนึ่งเอาต์พุตโดยใช่วงจรรวมสำเร็จรูป ซึ่งได้รับการพัฒนาขึ้นมาอย่างต่อเนื่อง ดังนี้ [3-10] แต่วงจรกรองความถี่เหล่านั้นยังมีข้อจำกัดของวงจรดังนี้ คือ ใช้อุปกรณ์พาสซีฟจำนวนมาก ตัวต้านทานและตัวเก็บประจุไม่ต้องการาวด์จึงไม่เหมาะที่จะนำไปพัฒนาสร้างเป็นวงจรรวม [11-12] และจากการศึกษาโครงข่ายกรองความถี่ที่มีผู้นำเสนอไว้นั้นพบว่า ไม่สามารถควบคุมความถี่ได้ด้วยวิธีการทางอิเล็กทรอนิกส์ไม่สามารถควบคุมความถี่ธรรมชาติและควอลิตี้แฟกเตอร์ได้อย่างอิสระจากกันได้

วงจร CCCII สามารถทำงานได้ ทั้งโหมดแรงดันและโหมดกระแส นอกจากนี้ยังมีข้อดีอีกหลายประการเช่น อัตราสูงเร็วสูง แบนด์วิธกว้าง โครงสร้างวงจรที่ออกแบบโดย CCCII ไม่ซับซ้อน [13]

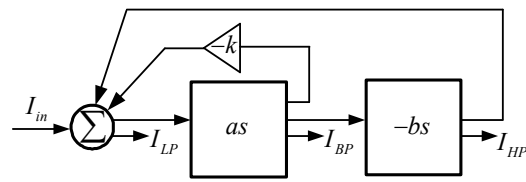
กลุ่มจากปัญหาที่ได้กล่าวมาข้างต้น ผู้วิจัยมีจุดมุ่งหมายเพื่อจะออกแบบวงจรกรองความถี่โหมดกระแส เพื่อให้สามารถควบคุมค่าความถี่โพลและค่าควอลิตี้แฟกเตอร์ได้ด้วยวิธีการทางอิเล็กทรอนิกส์อย่างเป็นอิสระต่อกัน อีกทั้งจะใช้อุปกรณ์ในการออกแบบวงจรจำนวนน้อยเพื่อลดความซับซ้อนของวงจรจากปัญหาที่ได้กล่าวมาข้างต้น ผู้วิจัยมีจุดมุ่งหมายเพื่อจะสังเคราะห์และออกแบบโครงข่ายกรองความถี่โหมดกระแส เพื่อให้สามารถควบคุมค่าความถี่ธรรมชาติและค่าควอลิตี้แฟกเตอร์ได้ด้วยวิธีการทาง

อิเล็กทรอนิกส์อย่างเป็นอิสระต่อกัน อีกทั้งจะใช้อุปกรณ์ในการออกแบบวงจรจำนวนน้อยเพื่อลดความซับซ้อนของวงจร

2. ทฤษฎีและหลักการ

2.1 การออกแบบโครงข่ายวงจรกรองความถี่

ออกแบบโครงข่ายวงจรกรองความถี่ ประกอบด้วย วงจรดิฟเฟอเรนเชียลเรซินิเอเตอร์แบบไม่มีการสูญเสีย (Lossless Differentiator) ต่อร่วมกับวงจรขยายกระแส ดังแสดงในรูปที่ 1



รูปที่ 1 บล็อกไดอะแกรมวงจรกรองความถี่โหมดกระแสหลายหน้าที่

จากรูปที่ 1 สามารถเขียนสมการถ่ายโอนฟังก์ชันได้ดังนี้

$$\frac{I_{LP}}{I_{in}} = \frac{1}{s^2 + \frac{sk}{b} + \frac{1}{ab}} \quad (1)$$

$$\frac{I_{BP}}{I_{in}} = \frac{\frac{s}{b}}{s^2 + \frac{sk}{b} + \frac{1}{ab}} \quad (2)$$

$$\frac{I_{HP}}{I_{in}} = \frac{s^2}{s^2 + \frac{sk}{b} + \frac{1}{ab}} \quad (3)$$

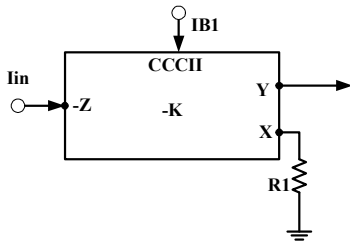
จากสมการที่ (1)-(3) สามารถหาความถี่โพล และควอลิตี้แฟกเตอร์ ดังนี้

$$\omega_0 = \sqrt{\frac{1}{ab}} \quad (4)$$

$$Q = \frac{1}{k} \sqrt{\frac{b}{a}} \quad (5)$$

จากสมการที่ (1-4) และ (1-5) พบว่าความถี่โพลและควอลิตี้แฟกเตอร์สามารถปรับได้อย่างอิสระจากกัน โดยค่าความถี่โพลสามารถปรับได้จาก a หรือ b และค่าควอลิตี้แฟกเตอร์สามารถปรับได้โดยค่า k จาก

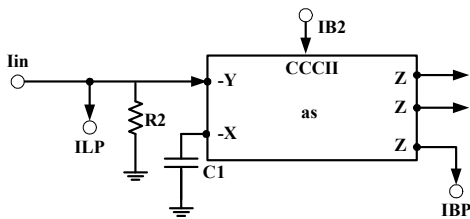
2.2 และวงจรขยายกระแสและวงจรถิฟเฟอร์เรนซิเอเตอร์ การออกแบบวงจรถิฟเฟอร์เรนซิเอเตอร์จะใช้อุปกรณ์แอกทีฟ CCCII 1 วงจร และตัวต้านทาน 1 ตัว ดังรูปที่ 2 ซึ่งจะได้ฟังก์ชันถ่ายโอนดังนี้



รูปที่ 2 วงจรถิฟเฟอร์เรนซิเอเตอร์

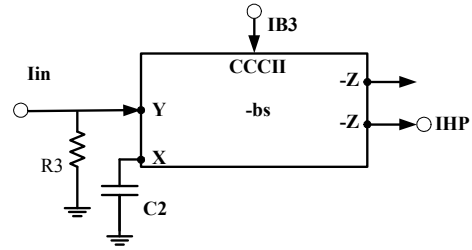
$$\frac{I_{Out}}{I_{in}} = \frac{R_1}{R_x} \quad (6)$$

การออกแบบวงจรถิฟเฟอร์เรนซิเอเตอร์ที่ไม่มีการสูญเสียในครั้งนี้จะใช้อุปกรณ์แอกทีฟ CCCII 1 วงจร ตัวเก็บประจุ 1 ตัวต่อลงกราวด์ และตัวต้านทาน 1 ตัว ดังรูปที่ 3 และรูปที่ 4 ซึ่งจะได้ฟังก์ชันถ่ายโอนดังนี้



รูปที่ 3 วงจรถิฟเฟอร์เรนซิเอเตอร์แบบบวกไม่มีการสูญเสีย

$$\frac{I_{Out}}{I_{in}} = R_2 C_{1s} \quad (7)$$



รูปที่ 4 วงจรถิฟเฟอร์เรนซิเอเตอร์แบบลบไม่มีการสูญเสีย

$$\frac{I_{Out}}{I_{in}} = R_3 C_{2s} \quad (8)$$

2.3 วงจรถิฟเฟอร์เรนซิเอเตอร์ที่นำเสนอนี้

โครงข่ายวงจรถิฟเฟอร์เรนซิเอเตอร์ที่หลายหน้าที่สามเอาต์พุต-หนึ่งอินพุตที่ได้จากการออกแบบ ในหัวข้อที่ 2.1 และ 2.2 นำมาประกอบกันตามรูปที่ 1 ซึ่งผลตอบสนองความถี่ทางเอาต์พุตประกอบด้วย ฟังก์ชันกรองผ่านความถี่สูง ฟังก์ชันกรองผ่านความถี่ต่ำ ฟังก์ชันกรองสัญญาณช่วงความถี่ ดังแสดงในรูปที่ 4 และหาฟังก์ชันถ่ายโอนได้ดังนี้

$$\begin{aligned} a &= R_2 C_{1s} \\ b &= R_3 C_{2s} \\ k &= \frac{R_1}{R_x} \end{aligned} \quad (9)$$

แทนค่า สมการ (9) ใน สมการที่ (1)-(3) จะได้

$$\frac{I_{LP}}{I_{in}} = \frac{1}{s^2 + \frac{sk}{R_3 C_{2s}} + \frac{1}{R_2 C_{1s} R_3 C_{2s}}} \quad (10)$$

$$\frac{I_{BP}}{I_{in}} = \frac{s}{s^2 + \frac{sk}{R_3 C_{2s}} + \frac{1}{R_2 C_{1s} R_3 C_{2s}}} \quad (11)$$

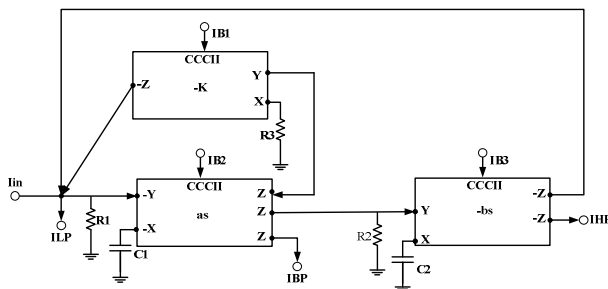
$$\frac{I_{HP}}{I_{in}} = \frac{s^2}{s^2 + \frac{sk}{R_3 C_{2s}} + \frac{1}{R_2 C_{1s} R_3 C_{2s}}} \quad (12)$$

จากสมการที่ (10)-(12) กำหนดให้ $R_2 = R_3$ และ $C_1 = C_2$ จะได้ว่าค่าความถี่ธรรมชาติและควอลิตี้แฟกเตอร์ ดังนี้

$$\omega_0 = \sqrt{\frac{1}{R_2 C_{1s} R_3 C_{2s}}} \quad (13)$$

$$Q = \frac{1}{k} \sqrt{\frac{R_3 C_{2s}}{R_2 C_{1s}}} \quad (14)$$

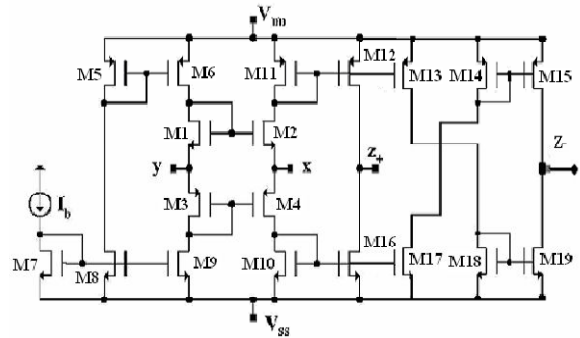
เมื่อ $\beta_n = \mu_n C_{ox} (W/L)$ คือค่าพารามิเตอร์ทางกายภาพของ CMOS จากสมการที่ (13) และ (14) สามารถทำการปรับค่าความถี่ธรรมชาติได้จาก R_2, C_1 หรือ R_3, C_2 ส่วนค่าควอลิตี้แฟกเตอร์ สามารถได้จากค่า R_1 หรือ I_{B1}



รูปที่ 5 วงจรกรองความถี่โหมดกระแสหลายหน้าที่ที่นำเสนอ

3. ผลการจำลองการทำงาน

วงจรกรองความถี่หลายหน้าที่สามอินพุต-หนึ่งเอาต์พุตได้ใช้เทคโนโลยีทรานซิสเตอร์ 0.25 μ m TSMC ขนาดของทรานซิสเตอร์ ดังตารางที่ 1 โดยใช้โปรแกรม Pspice จำลองการทำงาน เพื่อเป็นการทดสอบและยืนยันสมรรถนะของวงจรที่นำเสนอ ใช้แหล่งจ่ายแรงดัน ± 1.25 V และค่าพารามิเตอร์ของอุปกรณ์แอกทีฟและพาสซีฟได้แก่ $I_{B1}=I_{B2}=I_{B3}=100\mu A$, $C_1=C_2=3nF$, และ $R_1=R_2=R_3=10k\Omega$ ตามลำดับโดยมีโครงสร้างวงจรถังรูปที่ 6

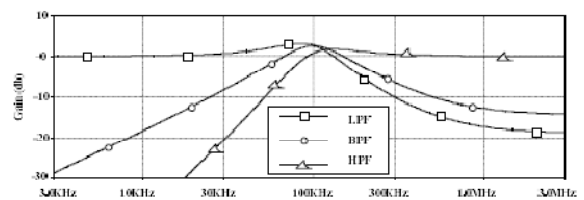


รูปที่ 6 โครงสร้างภายในของ CCCII ที่ใช้ในการจำลองการทำงาน

ตารางที่ 1 ตารางค่าอัตราส่วน (W/L) ของมอสทรานซิสเตอร์

ทรานซิสเตอร์	W (μ m)	L (μ m)
M ₁ -M ₁₁ ,	55	24
M ₁₂ -M ₁₉	5	55

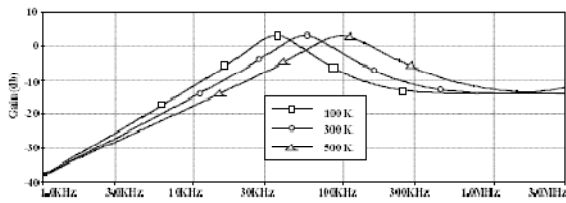
การทดสอบผลการตอบสนองของสัญญาณความถี่ โดยป้อนอินพุตเป็นสัญญาณไซน์หรือ AC กำหนดกระแส เท่ากับ 1 พบว่าวงจรสามารถตอบสนองฟังก์ชันกรองความถี่ทั้ง 3 แบบ คือ ฟังก์ชันกรองผ่านความถี่สูง กรองผ่านความถี่ต่ำ กรองสัญญาณช่วง การทดสอบการตอบสนองทางเฟสของวงจร โดยวัดจากฟังก์ชันกรองผ่านทุกความถี่เพื่อยืนยันการทำงานของวงจรมานำมาใช้เป็นวงจรเลื่อนเฟสได้จริง นำผลที่ได้จากการวัดมาทำการพล็อตกราฟเพื่อแสดงผลการตอบสนองทางเฟสแต่ละช่วงความถี่แสดงในรูปที่ 7



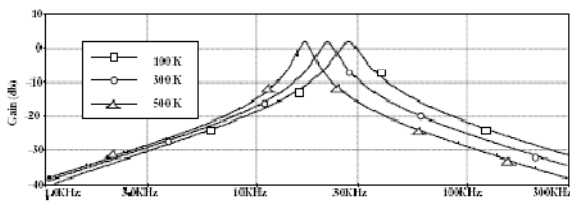
รูปที่ 7 ผลตอบสนองความถี่ที่นำเสนอ

การทดลองพบว่าผลตอบสนองทางขนาดของฟังก์ชันกรองแถบความถี่ผ่าน เมื่อเปลี่ยนแปลงค่า $R_1 = 100K$, $300K$, และ $500K$ ดังแสดงในรูปที่ 8 และ เมื่อเปลี่ยนแปลงค่า $R_2 = 100K$, $300K$, และ $500K$ ดังแสดงในรูปที่ 9 จาก

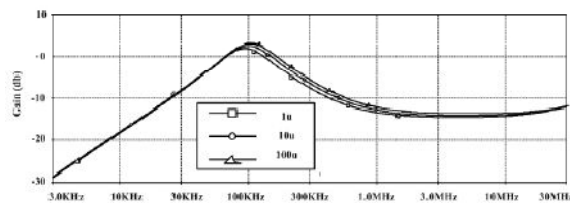
ผลการจำลองพบว่า สอดคล้องกับสมการที่ (13) การทดสอบสมรรถนะการควบคุม คอวลิตีที่แพคเตอร์ด้วยวิธีอิเล็กทรอนิกส์ ด้วยการปรับค่ากระแส $I_{B1}=1\mu A$, $10\mu A$, และ $100\mu A$ ตามลำดับโดยทดสอบที่ฟังก์ชันกรองผ่านแถบความถี่ พบว่าวงจรให้การตอบสนองความถี่ธรรมชาติเหมือนกันแต่ค่าคอวลิตีที่แพคเตอร์มีการเปลี่ยนแปลง ดังแสดงในรูปที่ 10 ซึ่งพบว่า สามารถปรับความถี่ธรรมชาติได้อย่างอิสระจากค่าคอวลิตีที่แพคเตอร์ สอดคล้องกับสมการที่ (13) และ (14) รูปที่ 11 เป็นการนำเสนอการตอบสนองเชิงเวลาของวงจรความถี่ที่นำเสนอโดยป้อนสัญญาณไซน์ $100\mu A$ ที่ความถี่ 100k



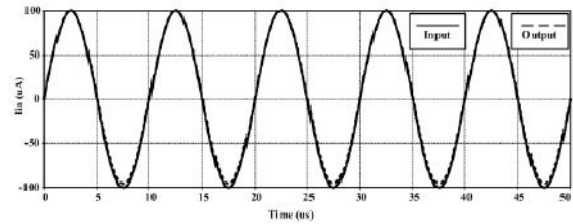
รูปที่ 8 ผลตอบสนองทางขนาดของฟังก์ชันกรองแถบความถี่ผ่านเมื่อเปลี่ยนค่า R_2



รูปที่ 9 ผลตอบสนองทางขนาดของฟังก์ชันกรองแถบความถี่ผ่านเมื่อเปลี่ยนค่า R_3



รูปที่ 10 ผลตอบสนองทางขนาดของฟังก์ชันกรองแถบความถี่ผ่านเมื่อเปลี่ยนค่า I_{B1}



รูปที่ 11 ผลตอบสนองของสัญญาณไซน์ที่ความถี่ 100k

4. สรุปผล

การทดสอบวงจรความถี่ที่นำเสนอด้วยโปรแกรม PSpice ที่มีโครงสร้างของ CCCII ใช้เทคโนโลยีทรานซิสเตอร์ $0.25\mu m$ TSMC สมรรถนะของวงจรถูกต้องตามหลักทฤษฎีและ ตรงตามวัตถุประสงค์ที่ตั้งไว้ โดยมีรายละเอียดขั้นตอนและผลการทดสอบโดยสรุปได้ดังนี้ จากการทดสอบพบว่าวงจรสามารถตอบสนองการทำงานได้ 3 ฟังก์ชัน ได้แก่ ฟังก์ชันกรองผ่านความถี่สูง กรองผ่านความถี่ต่ำ กรองสัญญาณช่วงความถี่ สามารถควบคุมค่าความถี่ธรรมชาติและค่าคอวลิตีที่แพคเตอร์ได้ด้วยวิธีทางอิเล็กทรอนิกส์อย่างเป็นอิสระต่อกัน

5.เอกสารอ้างอิง

- [1] วินัย ไจกล้ำ, เกรียงไกร สุขสุด และมนตรี ศิริปรัชญานันท์. “วงจรรองความถี่โหมดกระแสแบบหลายหน้าที่โดยใช้ CCCDBAs ที่ควบคุมได้ด้วยวิธีการทางอิเล็กทรอนิกส์”, 2549.
- [2] I. A. Khan, and S. Khawaja, “An Integrable gm-C quadrature Oscillator”, Int. J. Electron., vol. 87, pp. 1353-1357,2000.
- [3] M.T. Abuelma’atti and M.A. Al-Qahtani, “A Grounded-resistor current conveyor-based active-R multiphase sinusoidal oscillator”, Analog Integr. Circuits Signal Process, 16, pp. 29–34, 1998.
- [4] M. Kumngern, and S. Junnapiya, “Tunable voltage-mode multifunction biquadratic filter with three inputs single output employing three single-ended OTAs and two capacitor,” The 4th International Conference on Intelligent

- System Modeling and Simulation, 2013, pp. 642-645.
- [5] Y.H. Ghallab, M.A. El-Ela, and M. Elsaid, "A novel universal voltage-mode filter With three inputs and single output using only two operational floating current conveyor," The 12th International Conference on Microelectronics, 2000, pp. 95-98.
- [6] J.W. Horng, "High-input impedance voltage-mode universal biquadratic filter using three plus-type CCIs," IEEE Transactions on Circuits and Systems, 2001, pp. 996-997.
- [7] M. Sagbas, and M. Koksak, "An electronically tunable voltage-mode universal filter using two current conveyors," Research in Microelectronics and Electronics, 2006, pp. 137-140.
- [8] M. Kumngern, M. Somdunyanok, and P. Prommee, "High-input impedance voltage-mode multifunction filter with three-input single-output based on simple CMOS OTAs," IEEE International Symposium on Communications and Information Technologies, 2008, pp. 426-431.
- [9] W.Y. Chiu, and J.W. Horng, "High-input and low-output impedance voltage-mode universal biquadratic filter using DDCCs," IEEE Transactions on Circuits and Systems, 2007, pp. 649-652.
- [10] M. Kumngern, and S. Junnapiya, "Voltage-mode universal filter with three-input single-output using DDCCs," IEEE Transactions on Circuits and Systems, 2010, pp. 746-749.
- [11] C. L. Hou, C. C. Huang, Y. S. Lan, J. J. Shaw and C. M. Chang. "Current-mode and voltage-mode universal biquads using a single current-feedback amplifier," Int. J. Electronics, 86(8), 1999, pp. 929-932.
- [12] Jiun-Wei Horng. "High-input impedance voltage-mode universal biquadratic filter using three plus-type CCIs," IEEE Transaction on Circuit and System, Vol. 2, Analog and Digital Signal Processing, vol.48, no.10, 2001, pp.996-997.
- [13] Neeta Pandey, Sajal K. Paul and S.B.Jain, "A new electronically tunable current mode universal filter using MO-CCCII", Analog Integrated Circuits for Signal Processing, 58, 171-178, 2009.
-